

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA ANIMAL



Influência do estatuto reprodutor no comportamento migratório da cagarra, *Calonectris borealis*

Frederico Gervásio de Lemos Sarmento Martins Leite

Mestrado em Ecologia Marinha

Versão definitiva

Dissertação orientada por:

Professor Doutor José Pedro Granadeiro

Doutora Letizia Campioni

2017

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus orientadores, a Letizia Campioni e o Professor José Pedro Granadeiro, por me terem acompanhado neste trabalho desde o início. Estiveram sempre presentes e sem eles este trabalho não poderia ter sido feito. Foi o professor quem me deu a conhecer este tema e me motivou para fazer o presente estudo, tendo fornecido também os meios para subsistir durante o trabalho de campo, em ilhas inóspitas. Agradeço o fato de poder utilizar dados de geolocalizadores obtidos pela equipa liderada pelos Profs. José Pedro Granadeiro e Paulo Catry ao longo de muitos anos. A Letizia foi quem me orientou em todo o trabalho de tratamento e análise de dados, onde eu precisei de bastante ajuda. Agradeço também aos meus amigos de mestrado, em particular ao Daniel Mameri e à Ana Sampaio, que me ajudaram na análise de dados e formatação de algumas figuras e tabelas, respectivamente. Obrigado também à Marisa e ao Rui, que me ajudaram na parte das referências bibliográficas do trabalho.

Um muito obrigado também à minha família, que foi um grande apoio durante todo este tempo, particularmente em certos momentos em que pensei desistir depois de muito trabalho já feito. Aos meus pais e avós pelo apoio que me deram. Ao meu avô Tuta por me lembrar sempre da importância da tese, cito as suas próprias palavras: “olha que está a chegar Setembro”. Mas Setembro já lá ia. À minha tia Sara pelo apoio e revisão ortográfica e ao meu tio Carlos pela orientação psicológica que me prestou. Ao meu irmão Afonso, por algumas revisões que fez, e ao meu primo Bernardo, pela ajuda que me deu na criação de algumas figuras deste trabalho. Em alturas mais complicadas quem mostrou apoiar-me foram também os meus amigos André e Filipe, e a minha namorada Rita, que sempre se manteve a meu lado.

Agradeço também a toda a equipa dos vigilantes da natureza do Parque Natural da Madeira, em particular ao Isamberto e ao Manuel José, que foram um grande auxílio durante a época de campo. Guardo ainda um agradecimento à Tegan, minha companheira de campo, que foi uma ajuda fundamental. Por último, um obrigado ao meu psicólogo Rui, que me soube ouvir e guiar nas fases de maior desmotivação.

Este trabalho foi apoiado pela FCT através do projeto “*SeaMigrants: Causes and consequences of individual variability in the migratory strategies of a pelagic seabird, with relevance for marine monitoring in a context of global changes*” (PTDC/BIA-ANM/3743/2014).

Resumo

A migração é uma atividade fundamental do ciclo de vida de grande parte das aves marinhas, sendo desencadeada por ciclos sazonais de disponibilidade de alimento e padrões meteorológicos. A espécie em estudo, a cagarra (*Calonectris borealis*), é uma ave marinha pelágica que passa a maior parte da sua vida em mar aberto. Todos os anos estas aves percorrem dezenas de milhares de quilómetros, atravessando o equador para se deslocarem entre as áreas de invernada e de reprodução. Apesar de já ser conhecido o comportamento migratório de cagarrias reprodutoras, pouco se sabe ainda acerca da migração de imaturos e adultos não-reprodutores.

No presente trabalho utilizámos dispositivos de geolocalização (*geolocators*) para seguir a migração de cagarrias de diferente estatuto reprodutor, tendo sido feita a amostragem nas Ilhas Selvagens, em três épocas de reprodução diferentes (2012, 2013 e 2014). Pretendemos comparar a fenologia (em particular o *timing*) da migração e a utilização das diferentes zonas oceânicas, durante a época de invernada, entre cagarrias reprodutoras, não-reprodutoras e imaturas.

Neste trabalho descobrimos que a Corrente de Benguela parece ser a área mais utilizada pelas cagarrias durante a época não-reprodutora, independentemente do estatuto reprodutor. Os resultados deste estudo apontam para que cagarrias reprodutoras apresentem uma maior direcionalidade na migração e despendam o tempo de migração por apenas uma ou duas áreas de invernada, quando comparadas com indivíduos imaturos e não-reprodutores, que pareceram ter um carácter mais exploratório. Foram encontradas diferenças evidentes no que toca à fenologia da migração, nomeadamente entre adultos e imaturos, que parecem dever-se ao facto de os imaturos não estarem constrangidos pelo investimento na reprodução. Por outro lado, foram encontradas algumas semelhanças nos *timings* de migração, o que sugere que as cagarrias têm alguns óptimos migratórios, possivelmente ditados pelas condições ambientais que influenciam as suas rotas migratórias.

As diferenças encontradas no comportamento migratório de aves de diferente estatuto reprodutor podem ser relevantes para a ecologia e conservação da cagarra, um importante predador de topo do meio marinho.

Palavras-chave: cagarra, migração, *timing*, áreas de invernada, estatuto reprodutor.

Abstract

Migration is a crucial activity in the life cycle of the majority of seabirds, being triggered by seasonal distribution of prey and weather patterns. The species studied here, the Cory's shearwater (*Calonectris borealis*) is a pelagic seabird that spends most of its life at open sea. Every year these birds make tens of thousands of kilometers, crossing the equator to travel between breeding and wintering grounds. Although we already know the migratory behaviour of breeding shearwaters, little is known about the migration of adult non-breeders and immatures.

In this study we used geolocation devices (geolocators) to track the migration of shearwaters of different breeding status. Field work took place in the Selvagens islands in the Madeiran archipelago, during three different breeding seasons (2012, 2013 and 2014). Our aim was to compare migration phenology (namely timing) and the use of different ocean areas during the wintering season, between breeding, non-breeding and immature shearwaters.

We found that the main wintering area used by these birds was the Benguela Current, regardless of breeding status. Our results seem to show that breeding shearwaters present a more direct migration and spend most of the time in one or two wintering areas, when compared with immatures and non-breeders, which performed a more explorative behaviour. Striking differences were found in migration phenology of shearwaters with different breeding status, namely between adults and immatures, which seem to be related to the fact that immatures are not constrained to invest in reproduction. On the other hand, we found some similarities in migration timings, suggesting that shearwaters have some optimal dates to migrate, possibly dictated by the environmental conditions that influence their migratory routes.

These differences we found in migratory behaviour of shearwaters of different breeding status can be relevant for the ecology and conservation of the Cory's shearwater, an important marine top predator.

Key words: Cory's shearwater, migration, timing, wintering grounds, breeding status.

Índice

Resumo.....	II
Abstract.....	III
Introdução.....	1
Metodologia.....	6
<i>Área de estudo</i>	<i>6</i>
<i>Amostragem.....</i>	<i>7</i>
<i>Processamento e análise dos dados de geolocalização</i>	<i>8</i>
<i>Análise estatística</i>	<i>12</i>
Resultados	14
<i>Utilização das diferentes zonas do oceano como áreas de invernada de acordo com estatuto reprodutor</i>	<i>16</i>
<i>Timing de migração em função do estatuto reprodutor</i>	<i>17</i>
Discussão	20
<i>Considerações finais</i>	<i>22</i>
Referências bibliográficas.....	24

Lista de figuras

Figura 1.1 – Imagem de cagaras, <i>Calonectris borealis</i> -----	1
Figura 1.2 – Principais áreas de invernada identificadas para a cagarra-----	2
Figura 2.1 – Localização geográfica das Ilhas Selvagens -----	6
Figura 2.2 – Exemplo de análise das curvas de luz no <i>software</i> TransEdit2 -----	9
Figura 2.3 – Marcos de referência usados para caracterizar os percursos migratórios das cagaras e modo de determinação do local de invernada -----	10
Figura 3.1 – Movimentos migratórios de todas (n = 60) as cagaras em estudo, a partir de seguimento por geolocalização-----	14
Figura 3.2 – Movimentos migratórios das cagaras em estudo, com primeiro local de invernada no Atlântico Noroeste, Correntes de Benguela/Agulhas, na Corrente das Canárias e na Corrente do Brasil-----	15
Figura 3.3 – Diversidade de Shannon-Wiener (<i>time budget index</i>) para cada estatuto reprodutor-----	16
Figura 3.4 – Comparação gráfica da fenologia (<i>timing</i>) de migração entre indivíduos reprodutores, não-reprodutores e imaturos -----	18

Lista de tabelas

Tabela 1 – Principais datas de migração de todas as 60 cagaras em estudo, relativas às épocas de 2012 a 2015-----	17
Tabela 2 – Principais datas de migração das cagaras que invernaram somente na zona de Benguela/Agulhas, relativas às épocas de 2012 a 2015-----	19

Introdução

A migração pode ser definida como o movimento regular, desencadeado normalmente por ciclos sazonais de disponibilidade de alimento e padrões meteorológicos, frequentemente em direção a locais específicos nas mesmas alturas do ano (Newton and Brockie, 2008; Shaffer et al., 2006). Este fenómeno é fundamental no ciclo da vida de um enorme número de animais marinhos, sendo talvez as aves marinhas um dos grupos que apresentam as migrações mais impressionantes (Egevang et al., 2010; Newton and Brockie, 2008). As migrações são mais marcadas na primavera e no outono, dependendo das condições ecológicas (disponibilidade de alimento, temperatura superficial do oceano, ventos dominantes, entre outras) que influenciam os movimentos das aves (González-Solís et al., 2007a; Newton and Brockie, 2008). Na migração outonal estes animais movem-se geralmente para latitudes mais baixas, procurando zonas do oceano mais produtivas e com condições menos adversas, o que promove a sobrevivência durante a invernada, um dos fatores chave que condiciona a dinâmica de populações em espécies de elevada longevidade (Péron and Grémillet, 2013). As condições ecológicas às quais as aves são sujeitas nas áreas de invernada e migração podem afectar também a sua sobrevivência, bem como o subsequente sucesso reprodutor (Newton and Brockie, 2008).

A espécie deste estudo, a cagarra (*Calonectris borealis*), é um predador de topo, que pertence ao grupo dos Procellariiformes. Esta Ordem é composta por aves marinhas pelágicas, o que significa que passam a maior parte da sua vida em mar aberto, ou seja, muito longe de costa. No geral são aves que apresentam uma estratégia de vida que se caracteriza por uma elevada longevidade, maturidade sexual tardia, por colocarem apenas um ovo por ninhada e apresentarem um investimento parental prolongado (Schreiber and Burger, 2002).



Figura 1.1. Cagarra (*Calonectris borealis*) voando sobre a superfície do oceano.

Duas vezes por ano muitos milhares de cagaras percorrem dezenas de milhares de quilômetros, atravessando o equador para se deslocarem entre áreas de invernada e de reprodução (González-Solís et al., 2009; Dias et al., 2011). O padrão típico de migração da cagarra caracteriza-se por uma “figura em oito” no oceano Atlântico, no sentido dos ponteiros do relógio no hemisfério norte e em sentido contrário no hemisfério sul (González-Solís et al., 2009). Os custos da migração e as principais rotas tomadas em direção aos locais de invernada estão bastante dependentes dos ventos dominantes no Oceano (Gonzales-Solis et al., 2009).

As cagaras passam cerca de 5 meses (Novembro a Fevereiro) nos locais de invernada, que se situam principalmente no Atlântico Sul. Dias et al. (2011) identificaram 6 grandes áreas de invernada para as cagaras da Selvagem Grande: a Corrente de Benguela, Corrente de Agulhas, Atlântico Central Sul, Corrente do Brasil, Atlântico Noroeste e Corrente das Canárias (Figura 1.2). Os restantes 7 meses do ano (Março a Outubro), são passados nas colônias do Atlântico Norte (desde os arquipélagos dos Açores e Berlengas, a Norte, aos da Madeira e das Canárias, a Sul), onde estas aves se reproduzem (Catry et al., 2011; Missagia et al., 2015).

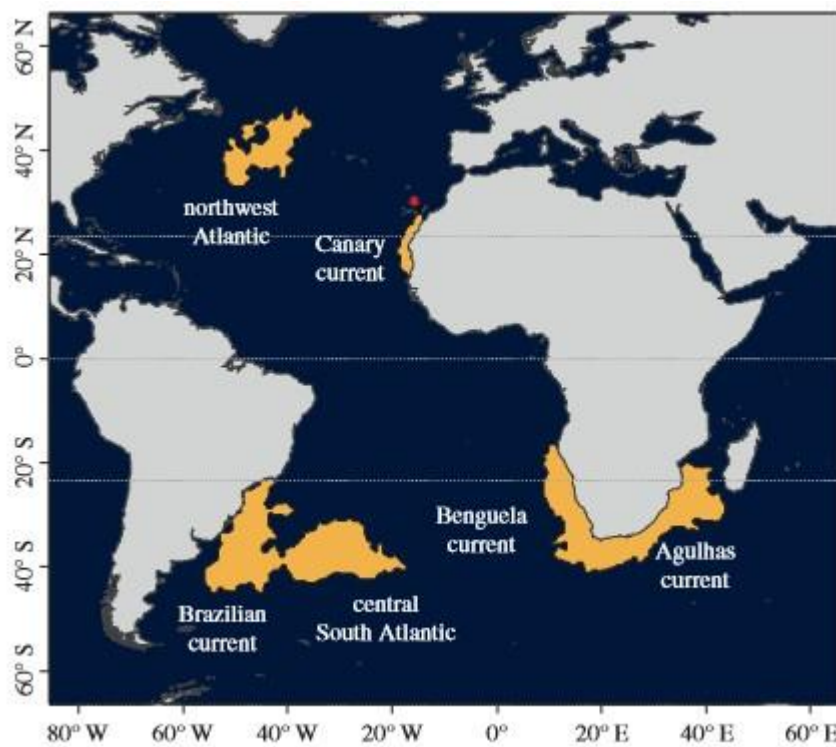


Figura 1.2. Principais áreas de invernada (amarelo) identificadas para a cagarra, *Calonectris borealis*. Assinaladas a vermelho encontram-se as Ilhas Selvagens, local de nidificação desta espécie. Imagem retirada de Dias et al. (2011).

A escolha dos locais de invernada está relacionada com o potencial que diferentes zonas oceânicas têm para servir de áreas de alimentação para as cagaras, que por sua vez pode ser influenciado por variáveis ambientais como a produtividade primária, a batimetria e a temperatura superficial do mar (Missagia, 2013). Apesar de serem fiéis aos locais de reprodução, as cagaras

apresentam alguma flexibilidade migratória, com indivíduos alternando entre diferentes áreas de invernada (por vezes em hemisférios opostos), em anos sucessivos (Dias et al., 2013). Estas aves marinhas são parcialmente migradoras, sendo que em determinados anos algumas podem ser residentes passando o inverno na Corrente das Canárias (Perez et al., 2014). Segundo estes autores, este comportamento é dependente do sexo das cagaras, havendo uma maior tendência para os machos serem residentes.

As cagaras iniciam a reprodução no mês de Março (Granadeiro, 1991). Durante a fase de pré-postura, muitas cagaras têm que recuperar de um longo período de migração, competindo por locais de nidificação e parceiros (González-Solís et al., 2007b; Paiva et al., 2010a). Para além disso, as fêmeas têm que acumular reservas (lipídicas e proteicas) para formar um único ovo de grande dimensão relativa (Paiva et al., 2010a). O longo período de incubação destas aves ocorre de Junho a Julho (Granadeiro et al., 2009). Durante esta fase, os 2 membros do casal permutam entre si longos turnos de permanência na toca (5 a 20 dias) e viagens para se alimentarem a si próprios (González-Solís et al., 2007b). As crias começam a nascer no final de Julho, sendo que os progenitores se mantêm com a cria nos primeiros dias de vida desta. Por mais 2 meses os progenitores trazem alimento às crias, alternando entre viagens curtas ao redor da colónia (para encontrar alimento para a cria) e viagens de longa duração (para manutenção da sua própria condição corporal), em direção a zonas com maior produtividade (Paiva et al., 2010a).

É no fim de Outubro e início de Novembro que os juvenis começam a sair dos ninhos (Alonso et al., 2014; Granadeiro, 1991), começando a sua primeira migração outonal (Péron and Grémillet, 2013). Durante esta primeira etapa, as jovens cagaras migram por sua conta, aprendendo pistas de navegação e adquirindo capacidades que as auxiliam na migração estival e posteriores jornadas enquanto adultas (Newton and Brockie, 2008; Péron and Grémillet, 2013). Enquanto juvenis, as cagaras passam todo o tempo no mar, visitando a colónia de origem (no caso das Ilhas Selvagens) apenas a partir do quarto ano (Campioni et al., 2016). A partir dessa altura, na qual ainda se encontram em estado de imaturidade, as cagaras voltam regularmente à colónia mas não se reproduzem (Campioni et al., 2016; Péron and Grémillet, 2013). Durante essa fase, têm de encontrar um parceiro e um local de nidificação, o que pode não ser fácil quando as colónias são muito grandes e por isso a competição muito elevada. Supõe-se também que seja durante esta fase que as cagaras adquirem experiência na identificação de áreas produtivas e de distribuições efémeras de presas no oceano, e de navegação entre áreas distantes (Fayet et al., 2015; Péron and Grémillet, 2013). É apenas com 9 anos de idade, em média, que as cagaras iniciam a reprodução (Campioni et al., 2016; Perez et al., 2014).

Ao longo da sua vida reprodutora, estas aves podem não investir na reprodução durante um ou mais anos, dando origem ao que normalmente se designa por anos “sabáticos” (Campioni et al., 2016; Giudici et al., 2010), muito provavelmente devido à reduzida condição imunológica e/ou nutricional

que possam apresentar antes da época de reprodução (Giudici et al., 2010). Estas aves podem até visitar as colónias, mas na maior parte das vezes ficam no mar e não são registadas na colónia.

Nos últimos anos, o seguimento de aves marinhas a partir do uso de dispositivos eletrónicos, miniaturizados e de longa duração, tem permitido revelar extraordinárias migrações transequatoriais de longa distância (e.g. Alho, 2014; Catry et al., 2011; Dias et al., 2011; Shaffer et al., 2006). De entre estes dispositivos de seguimento, são de destacar os “Global Location Sensor”, vulgarizado como GLS ou “(light level) geolocator”. Este aparelho, permite calcular a posição dos indivíduos duas vezes por dia, a partir dos níveis de luz ambiente (ver Metodologia, para detalhes sobre a forma de cálculo), e apresenta uma dimensão muito reduzida, e uma longevidade muito grande (superior a 1 ano), permitindo obter informação acerca de migrações muito prolongadas, por extensas áreas geográficas. A sua pequena dimensão e baixo custo e simplicidade de utilização, revolucionou o conhecimento sobre rotas migratórias de inúmeras espécies de aves marinhas. Não obstante as vantagens deste dispositivo, é necessária a recaptura das aves para que possam ser recolhidos os dados fornecidos pelos GLS.

Assim, a maior parte destes estudos tem sido focada em indivíduos adultos capturados nas colónias de reprodução, uma vez que muitas espécies utilizam geralmente o mesmo ninho todos os anos e por isso são mais fáceis de marcar e recapturar no ano seguinte. A captura (e recaptura) de aves não-reprodutoras é obviamente mais complexa e por esse motivo são muito poucos os estudos realizados sobre aves imaturas (i.e., aves que estão a começar a regressar à sua colónia de origem) ou aves não-reprodutoras (i.e., aves que por algum motivo, interromperam temporariamente a sua reprodução). Consequentemente, é difícil a recuperação do equipamento e respetivos dados no caso de indivíduos não-reprodutores (Fayet et al., 2015; Shillinger et al., 2012). Outro fator que limita o estudo de animais imaturos é a maior taxa de mortalidade que experienciam, quando comparada com os adultos (Péron and Grémillet, 2013; Shillinger et al., 2012; Weimerskirch et al., 2006). Assim, pouco se sabe ainda acerca do comportamento e distribuição de aves pelágicas imaturas (Fayet et al., 2015), embora constituam um dos mais numerosos segmentos populacionais das espécies iteróparas de elevada longevidade (Campioni et al., 2016; Giudici et al., 2010), como é o caso da cagarra. De facto, as aves imaturas podem constituir mais de metade de uma população, excluindo as crias (Klomp and Furness, 1992)

Recentemente, têm sido feitos alguns estudos que comparam aspectos do nicho trófico, segregação espacial e fenologia de cagaras adultas e imaturas (e.g. Campioni et al., 2016; Fayet et al., 2015; Péron and Grémillet, 2013). As evidências obtidas até ao momento sugerem de facto uma separação de nicho trófico entre indivíduos reprodutores e “não-reprodutores” (estes últimos incluindo imaturos e adultos em época sabática) (Campioni et al., 2016). Essa separação parece dever-se a um constrangimento designado geralmente por *central place foraging*, que obriga a que toda a atividade

de procura de alimento se centre à volta de um local central (a colónia), uma vez que as aves estão “obrigadas” a incubar o ovo ou alimentar a cria durante esse período. De facto, as cagaras que se estejam a reproduzir têm o constrangimento de ter que proteger e alimentar a cria (Campioni et al., 2016; Shaffer et al., 2006). Por outro lado, indivíduos não-reprodutores não têm esses limites de procura de alimento (Campioni et al., 2016).

Outro aspeto muito mal conhecido em praticamente todas as espécies de aves marinhas é o do comportamento migratório de juvenis e imaturos. Numa outra espécie de cagarra, *Calonectris diomedea*, que se reproduz no Mediterrâneo, Péron and Grémillet (2013) seguiram a migração outonal ao longo de diferentes classes etárias (juvenis, imaturos e adultos), concluindo que aves imaturas apresentam um carácter mais exploratório e prospejam águas mais distantes que no caso dos adultos, embora partilhando as mesmas áreas de invernada. Estes autores encontraram diferenças no *timing* de migração e rotas migratórias entre estes três estados etários. No entanto os dados de seguimento deste trabalho são apenas relativos à migração outonal e distribuição das cagaras na época de invernada, não tendo sido estudada toda a migração anual. Além disso, apenas foi usada uma pequena amostra de indivíduos juvenis (n = 10) e imaturos (n = 8). Apesar de se saber que o sucesso reprodutor pode influenciar a fenologia da migração de cagaras adultas (Missagia, 2013), não se conhece o que determina os *timings* no caso de indivíduos imaturos e mesmo em grande parte do ciclo anual das cagaras. Sendo assim, são precisos estudos adicionais para melhor se compreender o comportamento migratório de cagaras imaturas. Assim, o presente trabalho tem como objetivo a comparação do comportamento migratório da cagarra entre diferentes classes de estatuto reprodutor. Os objetivos específicos são:

- 1) Comparar os destinos migratórios de aves imaturas, não reprodutoras (sabáticas) e reprodutoras;
- 2) compreender se aves com diferente estatuto reprodutor diferem na forma como repartem o tempo de migração pelas diferentes zonas de migração, durante a época de invernada;
- 3) testar a influência do estatuto reprodutor no *timing* de migração da cagarra.

Tendo em conta o que foi dito anteriormente, é de esperar que aves imaturas, sendo menos experientes que os adultos (Fayet et al., 2015), explorem mais zonas oceânicas durante a época de invernada, e por isso distribuam o tempo de migração e permanência nessas áreas de forma mais equitativa, em comparação com os adultos reprodutores. No que se refere ao *timing* de migração, prevemos que os indivíduos que tiveram sucesso reprodutor saiam mais tarde das Selvagens, por terem que cuidar das crias até estas deixarem os ninhos relativamente aos indivíduos não reprodutores (imaturos e sabáticos). Por outro lado, não tendo os imaturos constrangimentos relacionados com o início da reprodução e com a defesa de ninhos, é esperado que tenham uma saída tardia das áreas de invernada e assim regressem à colónia depois dos adultos.

Metodologia

Área de estudo

O trabalho de campo foi realizado na Selvagem Grande (30° 09'N, 15° 52'W) que, em conjunto com a Selvagem Pequena e o Ilhéu de Fora, constitui o arquipélago das Ilhas Selvagens, pertencente à Região Autónoma da Madeira. Esta ilha de origem vulcânica encontra-se a cerca de 300 km a sul da ilha da Madeira e a ca. 160 km a norte das ilhas Canárias (Granadeiro et al., 2006; Figura 2.1). A Selvagem Grande é composta por um planalto central rodeado de falésias, tendo uma altitude máxima de 154 m e a área total de cerca de 267.5 ha (Granadeiro et al., 2006; Matias and Catry, 2010). O sistema oceânico que rodeia as Selvagens é caracterizado por baixa produtividade primária, como é evidenciado pela elevada temperatura superficial da água do mar (Paiva et al., 2010b). As Selvagens distam cerca de 375 km da plataforma continental Africana (Paiva et al., 2010b), onde a produtividade é mais elevada devido ao intenso afloramento costeiro dessa região. Por outro lado, outras áreas oceânicas ricas em biodiversidade (tais como montes ou bancos submarinos) ficam num raio de 300 a 500 km das Selvagens, sendo que há vários montes submarinos, a norte das Canárias, que as cagarras exploram para capturarem peixe (Carvalho, 2012). O clima subtropical marítimo caracteriza as Selvagens, que apesar de influenciadas por fortes ventos alísios com humidade, têm baixa precipitação (Plano de Gestão e Ordenamento das Ilhas Selvagens 2014).

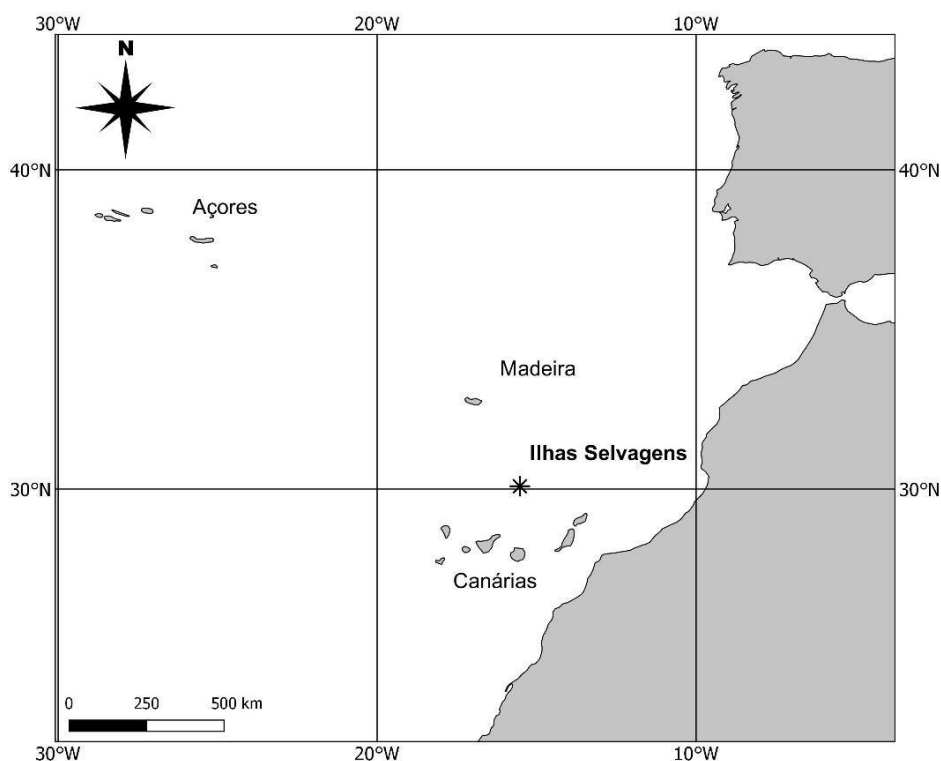


Figura 2.1. Localização geográfica da área de estudo, as Ilhas Selvagens.

As ilhas Selvagens foram a primeira Reserva Natural criada em Portugal, em 1971, e têm atualmente estatuto de Reserva Natural Integral (Plano de Gestão e Ordenamento das Ilhas Selvagens 2014). Estas ilhas não têm mamíferos nativos e as aves são o grupo vertebrado dominante (Plano de Gestão e Ordenamento das Ilhas Selvagens 2014). Como tal, esta reserva é também classificada como *Important Bird Area* (IBA) e designada como Zona de Proteção Especial ao abrigo da Diretiva Aves, transposta para o Direito Português pelo Decreto-Lei n.º 140/99, de 24 de Abril. As Selvagens são um importante local de nidificação de várias espécies de aves marinhas da Macaronésia e do Atlântico Norte (Plano de Gestão e Ordenamento das Ilhas Selvagens 2014). Apesar da cagarra ter sido muito abundante nestas ilhas, a constante captura de ovos e crias, feita pelo Homem no início do século XX, dizimou a população, passando esta de cerca de 100000 para apenas 5000 casais, na década de 70 (Ramos et al., 2012). Com a criação da reserva e constante vigilância, o número de cagaras aumentou, tendo sido estimado em cerca de 30000 casais no ano de 2005 (Granadeiro et al., 2006). Nas Selvagens encontram-se também outras espécies de procellariiformes nidificantes, o Calcamar *Pelagodroma marina hypoleuca*, a Alma-negra *Bulweria bulwerii*, o Pintainho *Puffinus baroli*, e o Roque de Castro *Oceanodroma castro* (Plano de Gestão e Ordenamento das Ilhas Selvagens 2014; RodríGuez et al., 2012). A gaivota-de-patas-amarelas *Larus michahelis atlantis* e o garajau-comum *Sterna hirundo* também se reproduzem nestas ilhas (Plano de Gestão e Ordenamento das Ilhas Selvagens 2014).

Amostragem

Este estudo decorreu durante as épocas de reprodução de 2012, 2013 e 2014 nos meses de Junho a Agosto. Nesses períodos foram colocados dispositivos de geolocalização (conhecidos na literatura científica como GLS, modelo Mk7 e Mk19, com cerca de 3.6 g, desenvolvidos pelo British Antarctic Survey) em cagaras com diferente estatuto reprodutor. Os GLS usados representam cerca de 0.5 % da massa corporal das cagaras (Perez et al., 2014), valor que é bastante inferior ao limite máximo de 3 %, acima do qual se sabe que estes dispositivos têm efeitos deletérios sobre os movimentos migratórios destas aves (Phillips et al., 2003). Os GLS foram fixos com uma abraçadeira plástica numa anilha metálica colocada no tarso de indivíduos imaturos e aves adultas capturadas na colónia. Nas épocas seguintes à colocação dos GLS (2013, 2014 e 2015) estas aves foram recapturadas e foram retirados os respetivos GLS. Todo o trabalho de campo foi aprovado pelo Serviço do Parque Natural da Madeira. Este estudo beneficiou de uma extensa base de dados da população de cagaras das Selvagens, sendo que, eram conhecidos o sexo e o estatuto reprodutor de grande parte dos indivíduos estudados.

De entre a totalidade de aves seguidas, foram selecionados os dados de migração relativos a 29 aves adultas que se reproduziram com sucesso (criaram um juvenil até este ficar apto para abandonar o ninho) na época estudada – referidos como “reprodutores” (REP), 17 adultos que falharam a

reprodução (ou não se reproduziram – sabáticos, ou perderam o ovo após a postura) – considerados “não-reprodutores” (NAO_REP) e em 14 aves imaturas (IMAT). As cagaras, em média, começam a reproduzir-se com 8.9 ± 1.7 anos (Catry et al., 2011), pelo que foram considerados indivíduos imaturos aqueles cuja reprodução não tinha sido ainda observada e que tinham idade entre os 4 e 8 anos (Catry et al., 2011; Péron and Grémillet, 2013; Riotte-Lambert and Weimerskirch, 2013), e.

As cagaras não têm dimorfismo sexual ao nível da plumagem, embora uma combinação de medidas biométricas possa diferenciar os sexos (Granadeiro, 1993). Assim, sempre que desconhecido, o sexo dos indivíduos deste estudo foi determinado com recurso a medidas biométricas do bico (comprimento do culmen: desde a ponta do bico até ao início das penas, base: altura máxima do bico na sua base, e o *gonys*: profundidade do bico no *gonys* (Catry et al., 2011; Granadeiro, 1993). Foram também medidos o comprimento da asa e do tarso em cada indivíduo. Em alguns casos foram usadas as vocalizações para distinguir os sexos (Granadeiro, 1993), já que existe um dimorfismo sexual evidente nas vocalizações da cagarra (Bretagnolle and Lequette, 2010). Quando se conhecia o sexo de um dos indivíduos do casal, o outro membro era assumido como sendo do sexo oposto.

O tempo de manuseamento de cada ave não excedeu os 10 minutos por forma a minimizar o stress causado sobre as mesmas e a probabilidade destas abandonarem os ninhos (Phillips et al., 2003).

Processamento e análise de dados de geolocalização

Os GLS registam dados de intensidade luminosa ao longo do tempo, através dos quais são estimadas as horas do nascer e pôr do Sol no local onde o aparelho se encontra. Estes aparelhos são especialmente sensíveis a intensidades muito baixas de luz, e por isso os momentos de crepúsculo são detetados com a máxima precisão, numa escala arbitrária que varia entre 0 (ausência de luz) até 64 (luz de intensidade superior à luz crepuscular ver Figura 2.2). Nos restantes períodos do dia, quando os valores são irrelevantes, os registos mantêm-se no valor máximo (64). Os valores registados ao longo do dia (com uma resolução de 10 minutos), permitem construir curvas diárias de luz identificando valores de iluminação (entre 0 e 64, por exemplo 10), que correspondam aos períodos de nascer ou pôr do sol. O primeiro passo da análise dos dados de luz é o estabelecimento de uma correspondência entre um dado nível de luz e um determinado ângulo de elevação do Sol, no sentido de definir um mesmo instante do dia em todos os dias em análise. Esse ângulo é normalmente negativo, i.e., refere-se a um momento de crepúsculo, em que o sol ainda se encontra abaixo do horizonte (Lisovski et al., 2012; Phillips et al., 2004). Depois de determinadas as horas do nascer e pôr-do-sol, é possível calcular a hora do meio-dia e da meia-noite do local onde a ave se encontra.

Quando um GLS é ativado, é introduzida a hora GMT (i.e. a hora medida no meridiano de Greenwich) e assim a longitude é estimada diretamente através da diferença entre a hora do meio-dia

(ou meia-noite) locais, e a hora do meridiano de Greenwich (se a diferença de tempo for positiva, a ave estará a oeste de Greenwich e se for negativa estará para leste e a magnitude da diferença ditará a longitude exata). Deste modo, é possível determinar duas longitudes em cada dia (uma correspondente ao meio dia e outra correspondente à meia noite). Por sua vez, a latitude é estimada através da duração do dia, ou noite (ou seja através do período entre dois eventos crepusculares sucessivos – nascer e pôr do Sol (Phillips et al., 2004), grandeza que varia de forma conhecida em cada ponto da terra.

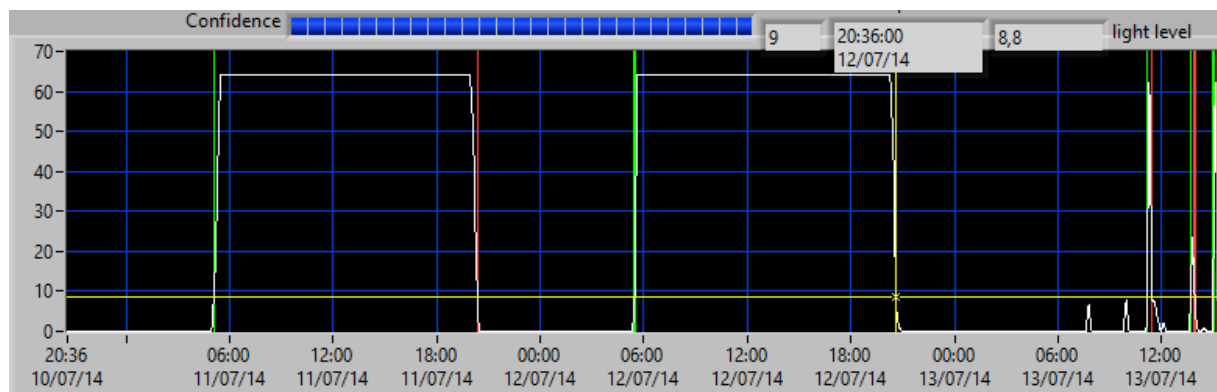


Figura 2.2. Exemplo de análise das curvas de luz no *software* TransEdit2. No eixo do xx está representado o tempo e no eixo do yy a intensidade da luz. As linhas verticais verde e vermelha representam o nascer e o pôr do sol, respetivamente. Na parte direita da figura há linhas verdes e vermelhas muito próximas, que correspondem a erros a serem eliminados.

Os dados de intensidade luminosa foram primeiro descarregados e depois analisados com recurso ao *software* BASTrak (desenvolvido pelo British Antarctic Survey, Cambridge). Por forma a avaliar a qualidade das curvas de luz e estimar os eventos do nascer e pôr do Sol (para um limiar de intensidade luminosa de 10) foi usado o programa TransEdit2, incluído no *software* BASTrak. Neste *software* é atribuído um valor de qualidade a cada determinação de hora de crepúsculo (nascer ou por do sol), de acordo com a forma como varia a luz. Para efeitos de determinação de posições apenas foram considerados pontos com qualidade boa, ou seja, com um valor de 9 (Figura 2.2). Nas curvas de intensidade luminosa foram eliminadas posições irrealis (resultantes de interferência em eventos de nascer ou pôr do sol), bem como curvas com a duração do anormalmente reduzida (Figura 2.2) .

Antes de serem colocados nas aves, os geolocalizadores foram calibrados numa localização conhecida (neste caso a Selvagem Grande), de modo a determinar a que valor de luz corresponde um dado ângulo solar naquele dia e local, assumindo-se essa combinação de valor e ângulo solar para todo o conjunto de dados (Kubetzki et al., 2009). O ângulo de elevação do sol estimado a partir do período de calibração variou entre -2° a -4.5° consoante cada GLS (a sensibilidade da célula de luz pode variar entre os *loggers*, (Dias et al., 2011). A localização dos indivíduos é obtida com um erro de cerca de 180 ± 114 km (Phillips et al., 2004).

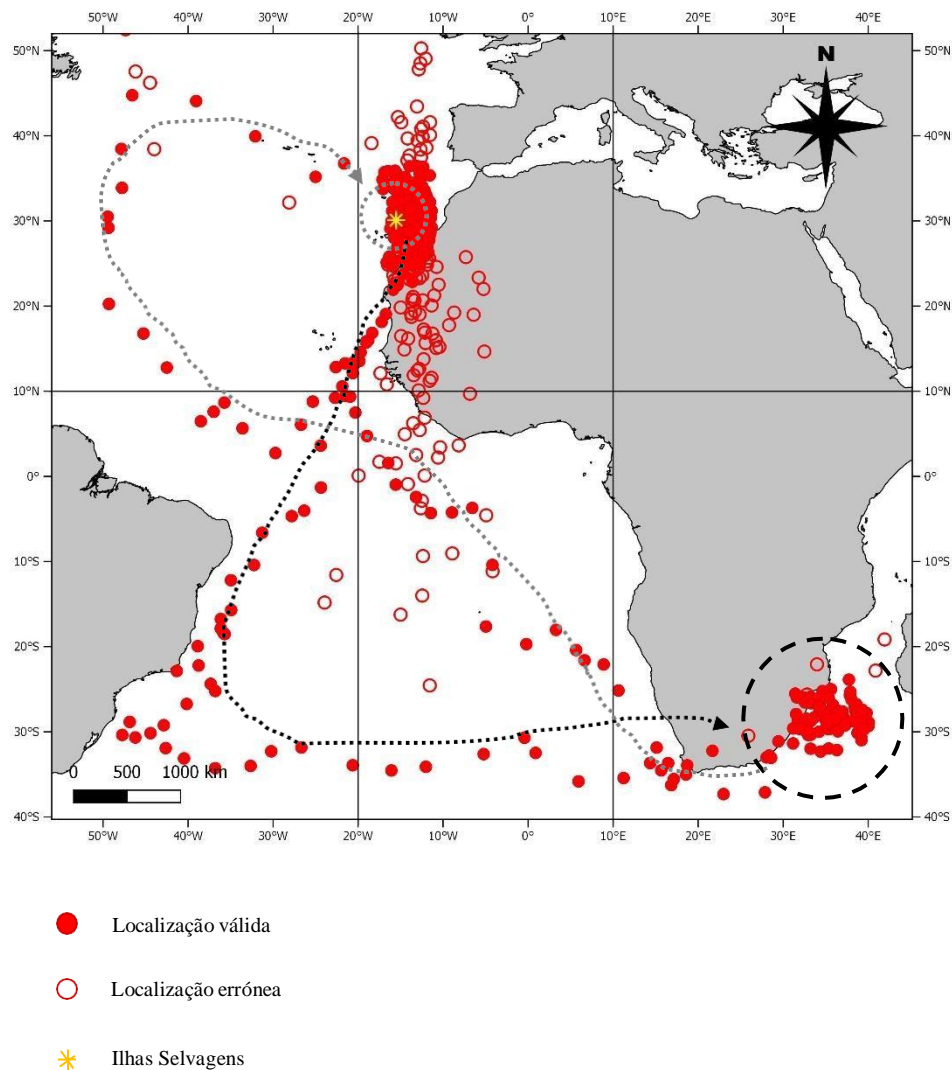


Figura 2.3. Marcos de referência usados para caracterizar os percursos migratórios das cagaras e modo de determinação do local de invernada (área seleccionada a tracejado - preto). A cinzento está marcada a área que circunda a colónia (Ilhas Selvagens). Para cada ave, registou-se a data em que a trajectória migratória atravessa o meridiano 20 ° Oeste (vertical) o paralelo 10 ° Norte (horizontal) e o meridiano 10 ° Este (vertical). As setas representam o sentido da migração (a preto – migração outonal; cinzento – migração de retorno à colónia). Algumas posições foram consideradas inválidas por se encontrarem na altura dos equinócios ou corresponderem a má qualidade de luz (por exemplo os vários pontos que estão sobre África Ocidental). Estas localizações correspondem à migração de apenas um indivíduo (neste caso uma fêmea reprodutora).

Posteriormente a este rastreio dos dados de luz, as localizações foram examinadas no *software* Quantum GIS (Quantum GIS Development Team, 2016). Foram dados valores de confiança a cada localização obtida no QGIS, com base na qualidade dos dados de luz, analisada anteriormente, e na posição espacial. Posições errôneas foram excluídas por corresponderem a curvas de luz de má qualidade ou se encontrarem nos 21 dias antes e depois de cada equinócio, pois durante esta altura a duração do dia mantêm-se constante, pelo que a latitude não pode ser estimada com precisão (Phillips et al., 2004) (Figura 2.3). No entanto, a longitude é pouco afetada durante estes períodos (Bächler et al., 2010). Assim, para determinar as datas de retorno à colónia, que (nos reprodutores) acontece normalmente durante o equinócio da primavera (Dias et al., 2011), usou-se a variação da longitude ao longo do tempo (Catry et al., 2011). Considerou-se a altura de chegada à colónia quando a longitude

de uma ave, com movimento evidente em direção a Este, se aproximava da longitude das Ilhas Selvagens.

Com os dados de geolocalização rastreados para cada indivíduo, analisámos a forma como cagarras de diferente estatuto reprodutor usaram diferentes zonas do oceano durante a época de internada. No sentido de quantificar as diferenças entre adultos e imaturos no que toca ao tempo despendido em cada zona do oceano foram definidos 6 polígonos englobando as principais áreas de internada identificadas para a espécie, com base em Missagia et al. (2015) e Dias et al. (2011). As 6 áreas consideradas foram : a Corrente de Benguela, Corrente de Agulhas, Atlântico Central Sul, Corrente do Brasil, Atlântico Noroeste e Corrente das Canárias. Posteriormente foi calculado, para cada ave, um índice de diversidade de Shannon-Wiener (neste caso denominado de *time budget index*). A fórmula adaptada deste índice é a seguinte:

$$H = - \sum_{i=1}^6 [(p_i) * \ln (p_i)]$$

H – índice de diversidade (*time budget index*)

Σ – somatório de 1 a 6 (nº de áreas de internada)

p_i – nº dias passados em cada área/nº total de dias durante o período de internada)

Este índice teve em conta as áreas de internada exploradas e as proporções do tempo despendido em cada uma. Cagarras reprodutoras estudadas por Dias et al., 2011 tiveram como valores médios de chegada e saída dos principais locais de internada, 11 de Dezembro \pm 17 dias e 19 de Fevereiro \pm 9 dias, respectivamente. Assim, definiu-se o período de internada para cálculo do índice entre 15 de Novembro e 1 de Fevereiro, uma vez que nessa altura a maior parte das aves se encontravam fora da zona da colónia, em migração ou ainda nas áreas de internada. Valores mais elevados do *time budget index* implicam um maior carácter exploratório, envolvendo uma exploração de mais zonas de internada e/ou uma repartição mais equitativa do tempo por diferentes zonas (i.e., uma menor direcionalidade da migração).

Tendo sido analisados todos os percursos migratórios (localizações dadas pelos GLS, para cada indivíduo), foram calculadas as seguintes datas para cada ave:

- (1) data de saída da colónia : data em que os indivíduos saíram definitivamente de um raio de 200km ao redor das Selvagens;
- (2) data saída da Corrente das Canárias : altura em que as aves, com um movimento direcional persistente, passaram o meridiano 20 ° Oeste (Figura 2.3). Esta data corresponde ao início da migração pós-nupcial (outonal);
- (3) passagem pelo paralelo 10 ° Norte : data em que as cagarras atravessaram o paralelo 10 ° N

(Figura 2.3), durante a migração outonal (i.e., dirigindo-se para Sul);

(4) passagem pelo meridiano 10 ° Este : momento no qual as aves atravessaram o referido meridiano, vindas da zona oeste do Atlântico sul, em direção à zona de Benguela/Agulhas;

(5) chegada à área de invernada : data em que os indivíduos chegaram aos principais locais de invernada (áreas onde as aves passam maior número de dias entre os meses de Dezembro a Fevereiro);

(6) saída da área de invernada : altura em que as cagaras saíram das principais áreas de invernada;

(7) chegada à colónia : data de chegada às Ilhas Selvagens;

(8) chegada ao ninho : momento no qual as aves voltaram aos ninhos.

Por forma a poderem ser comparadas estas datas de acordo com estatuto reprodutor nos diferentes anos, foi determinada, para cada ave, a diferença entre o 1 de Janeiro do ano anterior ao da migração e a respetiva data (por exemplo “saída da colónia ”). Depois foram calculadas as médias dessas datas relativas (em dias julianos) para cada estatuto reprodutor e reconvertidas em datas. Foi possível determinar-se o momento no qual as aves voltaram ao ninho pela primeira vez porque, aquando da análise das curvas de luz, se observou um período de ausência de luz durante o período diurno, correspondente à permanência no local de nidificação (normalmente fendas entre as rochas ou grutas). Assim, esta determinação só se pode fazer porque as cagaras nas Selvagens chegam ao ninho durante o dia. O momento de chegada ao ninho é útil pois confirma a data de chegada à colónia, que em alguns casos foi difícil de calcular devido à proximidade do equinócio.

Análise estatística

Por forma a analisar as diferenças no uso das zonas do oceano durante a invernada (usando o *time budget index*), entre cagaras de diferente estatuto reprodutor, foi feito um teste de Kruskal-Wallis.

Para testar a influência do estatuto reprodutor no *timing* da migração da cagarra tiveram que ser feitas duas análises diferentes, isto porque a fenologia da migração pareceu ser influenciada pelo primeiro local de invernada. Assim, foi feita uma primeira análise com todos os 60 indivíduos em estudo e outra apenas com as aves que invernaram somente na zona da África do sul (Corrente de Benguela e Corrente de Agulhas, n=41), de modo a controlar o efeito do destino de migração. Relativamente à interação entre “sexo” e “estatuto reprodutor”, esta não foi testada devido ao reduzido número de fêmeas não-reprodutoras (n=9) e imaturas (n=4) amostradas. Sempre que os pressupostos foram cumpridos, usaram-se ANOVAs para testar diferenças no *timing* de migração, por estatuto reprodutor (reprodutores, não-reprodutores e imaturos). Quando a distribuição das subamostras era

efetivamente afastada da distribuição normal e as variâncias eram heterogêneas, recorreram-se aos testes de Kruskal-Wallis. Os testes *a posteriori* usados foram Teste de Tukey HSD e Teste de Kruskal-Wallis (comparações de grupos dois a dois).

Usámos um nível de significância de $P < 0.05$ para todos os testes efetuados. Os resultados relativos às datas de migração são apresentados como média \pm desvio padrão. As análises estatísticas deste trabalho foram feitas nos *softwares* R (R Core Team, 2016) e SPSS (IBM Corporation, 2015).

Resultados

A partir dos dados de geolocalização obtidos, foi possível observar o característico padrão de migração da cagarra, que envolve uma deslocação quase direta das ilhas Selvagens para oeste do Atlântico sul, seguida de uma passagem para o sul de África (Figura 2.3, Figura 3.1). A migração pré-nupcial envolve uma deslocação quase retilínea com a direção aproximada dos Açores, seguida de uma aproximação às Selvagens por Noroeste.

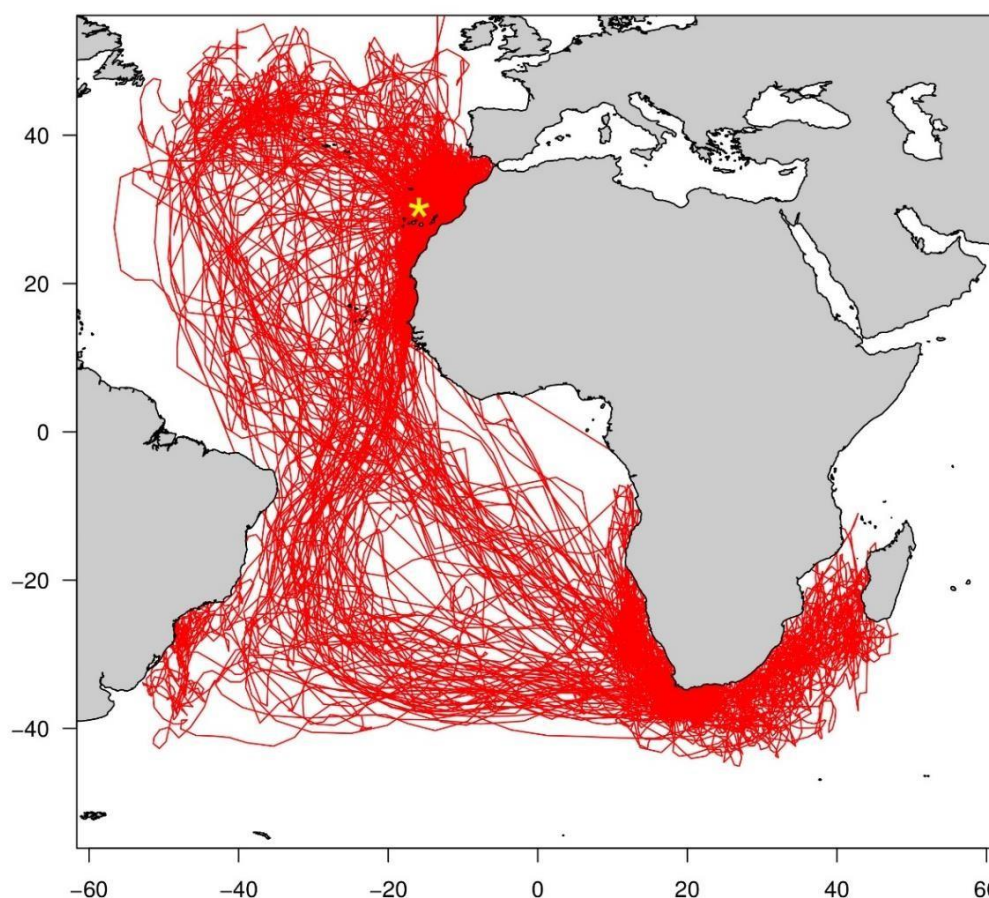


Figura 3.1. Movimentos migratórios de todas ($n = 60$) as cagarra em estudo, a partir de seguimento por geolocalização. O símbolo amarelo (*) representa a localização das ilhas Selvagens.

A maior parte dos indivíduos estudados (82%, $n = 49$) migrou diretamente da colónia para a zona da corrente de Benguela (no Atlântico Sul) e Agulhas (no oceano Índico) (ver figura 3.2, segundo painel a contar de cima). Alguns indivíduos (6 machos adultos) mantiveram-se na Corrente das Canárias (não tendo passado abaixo do Equador), enquanto 4 fêmeas passaram o inverno na Corrente do Brasil (Figura 3.2). Apenas um indivíduo (um macho reprodutor) teve como única área de invernada o Atlântico Noroeste (Figura 3.2).

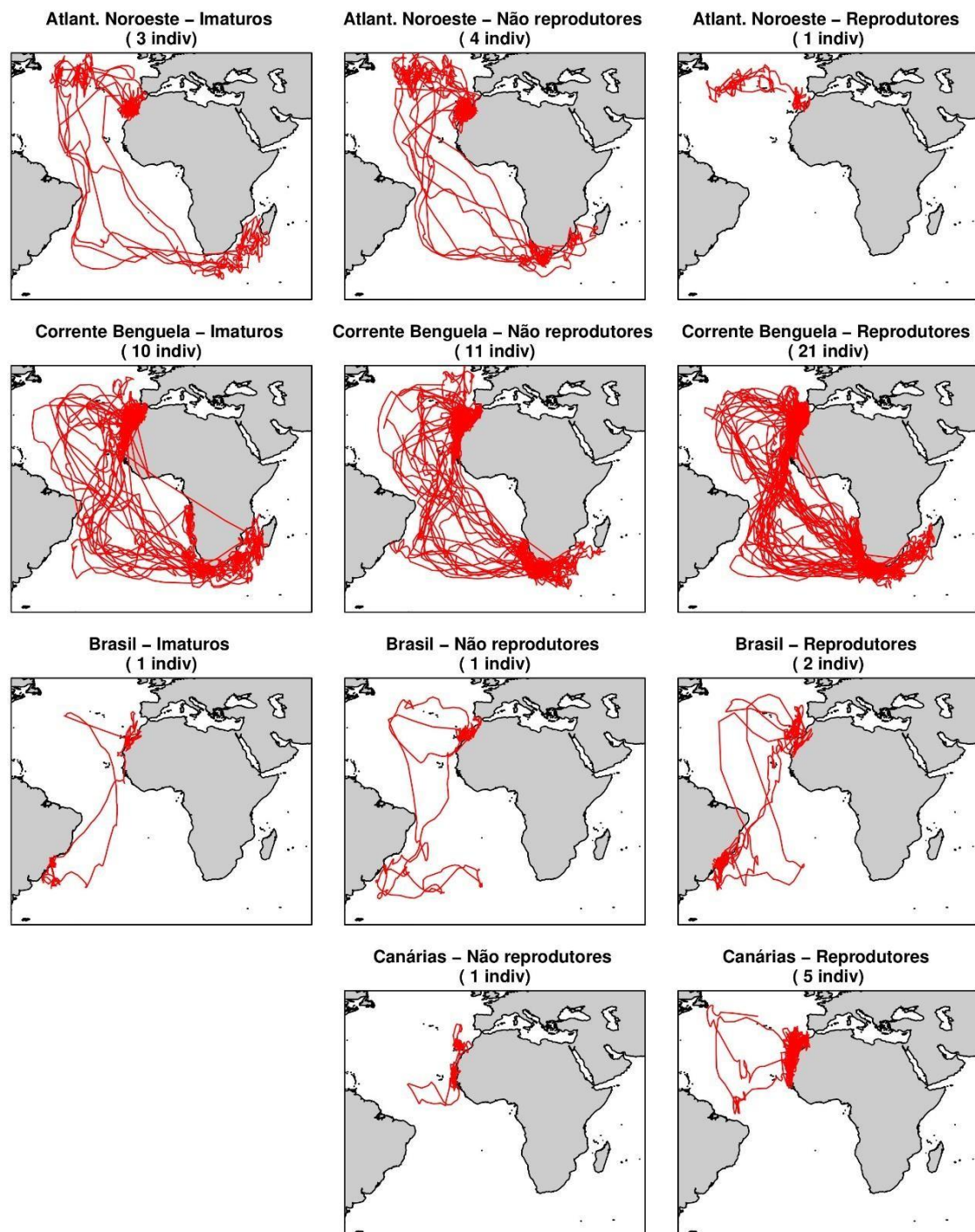


Figura 3.2. Movimentos migratórios das cagarras em estudo, a partir de seguimento por geolocalização, em função do estatuto reprodutor (imaturos, não-reprodutores e reprodutores) e primeiro local de invernada: Atlântico Noroeste, Correntes de Benguela/Agulhas, Corrente do Brasil e Corrente das Canárias.

Observaram-se algumas diferenças nos padrões de migração em função do estatuto reprodutor. Assim, algumas aves não-reprodutoras e imaturas deslocaram-se primeiro para o Atlântico Noroeste,

aquando da migração outonal, antes de atravessarem para o hemisfério sul em direcção à corrente de Benguela (Figura 3.2, primeiras duas imagens em cima e à esquerda).

Utilização de diferentes zonas do oceano como áreas de invernada de acordo com estatuto reprodutor

A comparação dos valores dos índices de diversidade de utilização das zonas oceânicas (*time budget index*), dos grupos em estudo, mostrou que os reprodutores apresentam uma menor diversidade relativamente aos outros dois grupos (Teste de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 10.5$, $df = 2$, $P = 0.005$) (Figura 3.3), o que indica que os reprodutores repartiram o seu tempo de modo mais desigual nas diferentes zonas de invernada quando comparados com os imaturos e indivíduos não-reprodutores.

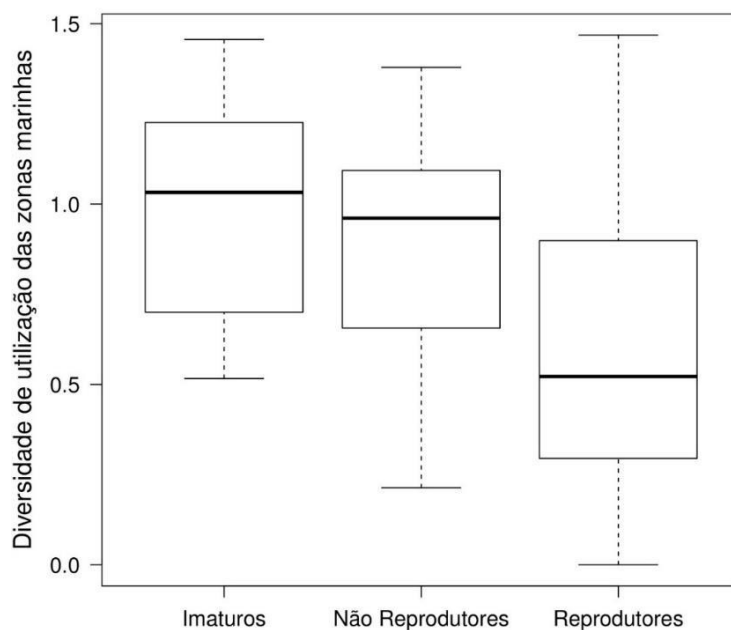


Figura 3.3. Diversidade de Shannon-Wiener (*time budget index*) relativa à utilização das principais zonas de invernada para cada estatuto reprodutor (imaturos, não reprodutores e reprodutores). No gráfico estão representadas as medianas (linhas pretas dentro das caixas) dos valores de diversidade.

Timing de migração em função do estatuto reprodutor

No que se refere à migração pós-nupcial, embora se tenham observado diferenças significativas nas datas de saída da colónia entre os grupos, as cagaras não diferiram nas datas de “saída da Corrente das Canárias”, (Tabela 1, Figura 3.4).

Tabela 1. Datas de migração (média \pm SD), relativas às épocas de 2012 a 2015, das cagaras das Selvagens de diferente estatuto reprodutor. Nesta tabela são usados dados relativos a todas as cagaras em estudo (N=60).

	Reprodutores	Não-reprodutores	Imaturos	Comparação estatística	Comparações <i>a posteriori</i>	
Saída da colónia	22 Out \pm 21 d (n=24)	12 Set \pm 42 d (n=16)	13 Set \pm 42 d (n=13)	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 11.459$ p = 0.003	REP vs NAO_REP NAO_REP vs IMAT REP vs IMAT	p = 0.001 p = 0.878 p = 0.040
Saída da Corrente das Canárias	15 Nov \pm 22 d (n=26)	24 Out \pm 31 d (n=16)	31 Out \pm 30 d (n=14)	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 2.251$ p = 0.325		
Passagem pelo paralelo 10 ° N	18 Nov \pm 16 d (n=24)	15 Nov \pm 7 d (n=16)	18 Nov \pm 6 d (n=14)	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 2.892$ p = 0.236		
Passagem pelo meridiano 10 ° E	2 Dez \pm 10 d (n=21)	3 Dez \pm 9 d (n=15)	7 Dez \pm 11 d (n=13)	ANOVA $F_{2,46} = 1.210$ p = 0.308		
Chegada à área de invernada	3 Dez \pm 11 d (n=24)	7 Dez \pm 15 d (n=16)	11 Dez \pm 12 d (n=14)	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 6.140$ p = 0.046	REP vs NAO_REP NAO_REP vs IMAT REP vs IMAT	p = 0.280 p = 0.183 p = 0.014
Saída da área de invernada	20 Fev \pm 10 d (n=24)	17 Fev \pm 8 d (n=16)	6 Mar \pm 16 d (n=14)	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 10.654$ p = 0.005	REP vs NAO_REP NAO_REP vs IMAT REP vs IMAT	p = 0.391 p = 0.004 p = 0.005
Chegada à colónia	12 Mar \pm 13 d (n=26)	12 Mar \pm 9 d (n=17)	2 Abr \pm 15 d (n=14)	ANOVA $F_{2,54} = 16.09$ p < 0.001	REP vs NAO_REP NAO_REP vs IMAT REP vs IMAT	p = 0.988 p < 0.001 p < 0.001
Chegada ao ninho	12 Mar \pm 11 d (n=22)	17 Mar \pm 25 d (n=11)	7 Abr \pm 13 d (n=8)	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 12.800$ p = 0.002	REP vs NAO_REP NAO_REP vs IMAT REP vs IMAT	p = 0.774 p = 0.012 p < 0.001

De igual modo, a passagem por certos marcos geográficos, como o paralelo 10 ° Norte, foi também feita de forma síncrona. Relativamente à migração pré-nupcial, foram encontradas diferenças evidentes no *timing* da migração entre os três grupos estudados. De fato, quer sejam usados todos os 60 indivíduos em estudo, ou apenas aqueles ($n = 41$) que invernaram na área de Benguela/Agulhas, observa-se que as aves imaturas deixam as áreas de invernada ca. de 20 dias depois dos adultos (reprodutores e não-reprodutores) (Tabela 1, Tabela 2). Os adultos (reprodutores e não-reprodutores) começam a chegar à colónia na primeira quinzena de Março, enquanto os imaturos só regressam às Selvagens no início de Abril (2 de Abril \pm 15 dias, Tabela 1, Figura 3.4). Pode ver-se um resultado semelhante relativamente à chegada das aves aos ninhos, sendo que os imaturos o fizeram quase um mês depois dos reprodutores (Tabela 1, Tabela 2).

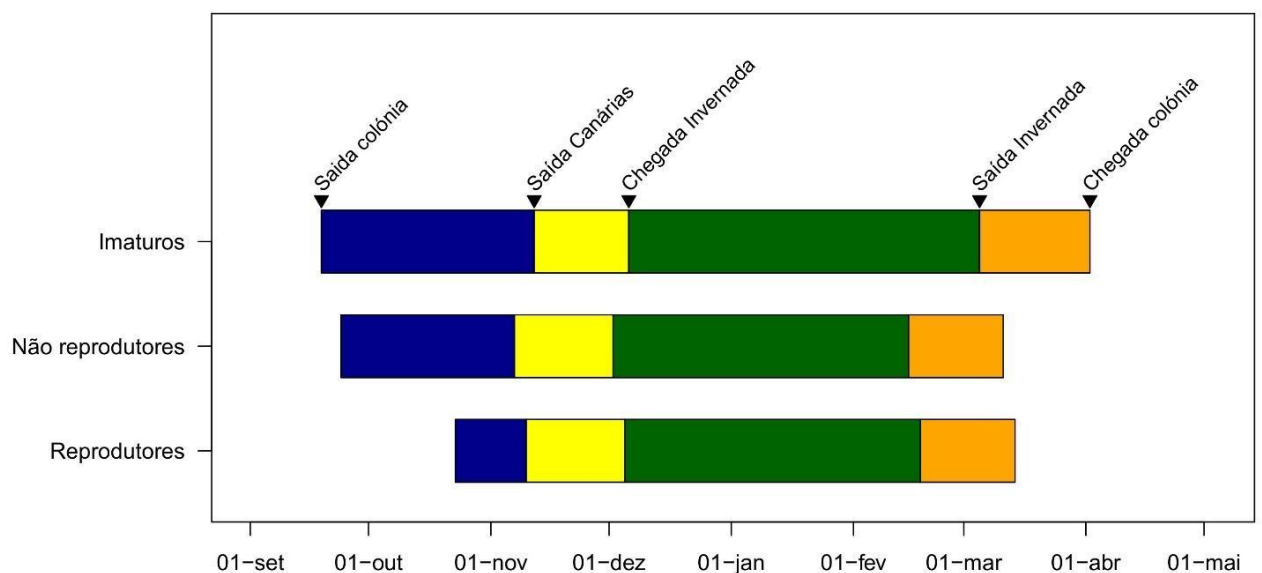


Figura 3.4. Comparação gráfica da fenologia (*timing*) de migração entre cagaras de diferente estatuto reprodutor (imaturos, não-reprodutores e reprodutores), tendo sido usados os dados das 60 cagaras em estudo. As intersecções entre as barras correspondem às principais datas de migração (saída da colónia, saída da corrente das Canárias, chegada à área de invernada, saída da área de invernada e chegada à colónia).

Considerando as datas de saída das Selvagens (colónia), os resultados obtidos na Tabela 1 coincidem em grosso modo com aqueles da Tabela 2, sendo que os imaturos e não-reprodutores são os primeiros a deixar a colónia. As cagaras parecem chegar às áreas de invernada sensivelmente na mesma altura (primeira semana de Dezembro) (Tabela 2), sendo que a diferença encontrada em “REP vs IMAT”, na segunda análise, foi pouco significativa (Tabela 1).

Tabela 2. Datas de migração (Média \pm SD), relativas às épocas de 2012 a 2015, das cagaras das Selvagens, segundo o estatuto reprodutor. Nesta tabela são apenas apresentados os dados relativos aos indivíduos que invernaram somente na zona de Benguela/Agulhas.

	Reprodutores	Não-reprodutores	Imaturos	Comparação estatística	Comparações <i>a posteriori</i>	
Saída da colónia	23 Out \pm 22 d	24 Set \pm 40 d	19 Set \pm 42 d	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 6.839$ p = 0.033	REP vs NAO_REP NAO_REP vs IMAT REP vs IMAT	p = 0.013 p = 0.761 p = 0.089
	(n=21)	(n=11)	(n=9)			
Saída da Corrente das Canárias	10 Nov \pm 8 d	7 Nov \pm 11 d	12 Nov \pm 7 d	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 0.960$ p = 0.619		
	(n=21)	(n=11)	(n=10)			
Passagem pelo paralelo 10° N	15 Nov \pm 7 d	12 Nov \pm 5 d	17 Nov \pm 7 d	ANOVA F _{2,39} = 1.512 p = 0.233		
	(n=21)	(n=11)	(n=10)			
Passagem pelo meridiano 10° E	2 Dez \pm 10 d	1 Dez \pm 9 d	3 Dez \pm 8 d	ANOVA F _{2,38} = 0.233 p = 0.793		
	(n=21)	(n=11)	(n=9)			
Chegada à área de invernada	Dez \pm 9 d	2 Dez \pm 10 d	6 Dez \pm 9 d	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 2.053$ p = 0.358		
	(n=21)	(n=11)	(n=10)			
Saída da área de invernada	18 Fev \pm 10 d	15 Fev \pm 6 d	5 Mar \pm 15 d	ANOVA F _{2,39} = 8.522 p = 0.001	REP vs NAO_REP NAO_REP vs IMAT REP vs IMAT	p = 0.639 p = 0.001 p = 0.003
	(n=21)	(n=11)	(n=10)			
Chegada à colónia	14 Mar \pm 11 d	11 Mar \pm 8 d	2 Abr \pm 14 d	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 12.555$ p = 0.002	REP vs NAO_REP NAO_REP vs IMAT REP vs IMAT	p = 0.679 p = 0.001 p = 0.002
	(n=20)	(n=11)	(n=10)			
Chegada ao ninho	11 Mar \pm 9 d	19 Mar \pm 28 d	11 Abr \pm 11 d	Kruskal-Wallis $\chi^2 = 10.846$ p = 0.004	REP vs NAO_REP NAO_REP vs IMAT REP vs IMAT	p = 0.864 p = 0.020 p = 0.001
	(n=14)	(n=8)	(n=6)			

Discussão

Neste trabalho apresentamos pela primeira vez a fenologia do ciclo anual de cagaras imaturas e adultas não-reprodutoras. Descobrimos que o estatuto reprodutor tem influência nos *timings* da migração da cagarra. Os nossos resultados mostram que os imaturos têm um comportamento mais exploratório, enquanto os adultos apresentam uma migração mais direcional, durante o período não-reprodutor. Além disso, encontramos diferenças na distribuição destes dois grupos etários pelas áreas de invernada exploradas.

À semelhança do que encontraram Dias et al. (2012), a Corrente de Benguela foi a principal área de invernada explorada pelas cagaras aqui estudadas. De facto, este sistema nerítico (i.e. baixa batimetria) está associado a importantes fenómenos de afloramento, apresentando baixos valores de *SST* (*sea surface temperature* - temperatura superficial do mar) e elevada concentração de clorofila a e consequente elevada produtividade primária, pelo que proporciona zonas de alimentação propícias para predadores de topo, nomeadamente aves marinhas (Grémillet et al., 2008; Longhurst, 2007; Missagia et al., 2015). Algumas cagaras não migraram (6 machos reprodutores e 1 macho não-reprodutor), tendo ficado residentes na Corrente das Canárias. Perez et al. (2014) encontraram o mesmo comportamento em machos reprodutores de cagarra. Estas aves não migraram porque provavelmente se encontravam em melhores condições para invernarem perto da colónia e teriam vantagem em ocuparem primeiro os ninhos para a época reprodutora seguinte (Kokko, 1999; Perez et al., 2014).

Os dados obtidos neste estudo mostraram também que o Atlântico Noroeste parece ser uma área usada principalmente por aves imaturas e não-reprodutoras antes de partirem para o Atlântico Sul, não sendo uma zona de destino das aves reprodutoras. O facto de as aves adultas (não-reprodutoras), presumivelmente mais experientes, utilizarem também essas zonas sugere que a produtividade dessa região seja possivelmente elevada. De facto, algumas áreas do Atlântico Noroeste são usadas por outras espécies de aves pelágicas, como a pardela-preta (*Ardenna grisea*), durante a época não-reprodutora (Hedd et al., 2012). Como os dados do presente estudo mostram, a maior parte destas aves deixou a colónia ainda em Setembro, antes das cagaras reprodutoras (Tabela 1, Tabela 2). Pensamos que estes indivíduos foram primeiro para o Atlântico Noroeste para evitarem atravessar o equador ainda sem ventos favoráveis na zona de convergência inter-tropical atlântica, antes de meados de Outubro (Felicísimo et al., 2008; González-Solís et al., 2009). Além disso, tendo o Atlântico Noroeste algumas áreas de elevada produtividade (Barrett et al., 2006; Newton and Brockie, 2003), estas cagaras imaturas e não-reprodutoras podem ter aproveitado esta zona como área de *foraging*, por forma a conseguirem acumular reservas para empreender a migração de longa distância até ao Atlântico Sul. Este comportamento não parece ser exclusivo de cagaras imaturas ou não-reprodutoras, visto que já foi documentado em indivíduos reprodutores por Dias et al. 2011, reforçando a ideia de

que são áreas ricas em alimento. Contudo, estes resultados devem ser interpretados com precaução, uma vez que a nossa amostra relativa a aves com este padrão foi reduzida (3 aves imaturas e 4 aves não-reprodutoras).

A forma como as cagaras se distribuíram e o tempo despendido em cada uma das áreas de invernada usadas variou de acordo com o estatuto reprodutor. O valor do índice de diversidade (*time budget index*) dos indivíduos reprodutores foi significativamente mais baixo que os valores relativos aos outros dois grupos (Figura 3.3). Isto aponta para que tanto os não-reprodutores como os imaturos tenham um carácter mais exploratório, quando comparados com os indivíduos que tiveram sucesso na reprodução, os quais distribuíram o tempo de migração apenas por uma ou duas zonas oceânicas usadas durante a invernada, nomeadamente a Corrente de Benguela e a Corrente de Agulhas. Assim, possivelmente as aves reprodutoras têm um comportamento mais direcional, utilizando algumas zonas oceânicas apenas para voos mais ou menos diretos, não realizando muitas paragens (*stopovers*) até chegarem ao destino final de migração (Missagia, 2013). As aves marinhas imaturas apresentam de facto taxas de dispersão mais elevadas, em comparação com aves reprodutoras (Votier et al., 2011; Huyvaert and Anderson 2004), o que pode explicar o facto de estas terem explorado diferentes áreas de invernada e distribuído o seu tempo em cada uma (o que indica que as cagaras imaturas tiveram uma menor direcionalidade na migração).

Os imaturos começaram a migração de volta à colónia (pré-nupcial) quase um mês depois dos adultos, quer estes fossem reprodutores ou não-reprodutores. Consequentemente, este segmento populacional chegou às Selvagens cerca de 20 dias depois das reprodutoras e não-reprodutoras. Esta diferença de *timing* é possivelmente devida à pressão que os adultos têm para se reproduzir na época seguinte (Cтры et al., 2013; Perez et al., 2014) e devido ao facto de os imaturos não estarem constrangidos pela reprodução. Efetivamente, as cagaras adultas, quer tenham tido ou não sucesso reprodutivo em determinada época, competem fortemente por locais de nidificação (Cтры et al., 2013; Ramos et al., 1997). Por outro lado, como não precisam de investir na reprodução, é provável que os imaturos tenham rotas migratórias mais extensas, marcadas por várias paragens, até chegarem à colónia, como foi encontrado por Missagia (2013) em aves reprodutoras inexperientes (com apenas uma ou duas tentativas de reprodução). Os imaturos chegaram aos ninhos também depois dos adultos, embora neste caso provavelmente esta diferença se deva ao facto dos primeiros apenas prospetarem possíveis locais de nidificação ou voltarem às tocas onde nasceram, não sendo sujeitos à mesma pressão que os adultos para chegarem aos ninhos.

Como esperado, por terem uma cria para cuidar até esta se tornar independente, os reprodutores foram os últimos a deixar as Selvagens para começarem a migração outonal. Um resultado similar foi encontrado por Cтры et al. (2013), autores que compararam o *timing* de migração entre reprodutores (controlo) e outras aves às quais foram, experimentalmente, retiradas as crias numa

fase inicial. No referido estudo, as aves manipuladas saíram mais cedo das Selvagens. Muito provavelmente, ao saírem mais cedo da colónia, as cagaras não-reprodutoras e imaturas têm mais tempo para explorar diferentes áreas de alimentação, ao contrário das reprodutoras, que têm que tomar rotas migratórias mais diretas até aos destinos de invernada, por forma a compensarem o tempo investido numa reprodução com êxito.

Apesar das diferenças obtidas no *timing* da migração ao longo do estatuto reprodutor, descobrimos que as cagaras começaram a migração outonal na mesma altura, provavelmente por encontrarem condições ecológicas ideais para iniciarem a migração em determinada época do ano (neste estudo, em finais de Outubro e início de Novembro). É sabido que as rotas migratórias de cagaras adultas são mais consistentes, mesmo em anos diferentes, quando estas atravessam determinadas barreiras ecológicas (neste caso o equador) (Dias et al., 2013). Possivelmente a partir de um processo de aprendizagem individual ao longo dos primeiros anos de migração, os imaturos vão aprendendo a lidar com condições adversas durante a passagem por águas equatoriais, refinando sucessivamente os seus movimentos migratórios (Dias et al., 2013; Guilford et al., 2011). Pensamos que as cagaras imaturas ajustem, assim, o *timing* de passagem por determinados marcos geográficos (neste estudo o paralelo 10 ° Norte e o meridiano 10 ° Este), fazendo-o de forma síncrona com os adultos. De um modo geral, as cagaras chegaram às principais áreas de invernada na mesma altura. Como as cagaras não são territoriais no mar, é possível que não haja vantagem competitiva em chegar primeiro aos locais de invernada (Catry et al., 2013; Kokko, 1999).

Considerações finais

Este estudo permitiu obter conhecimento sobre a migração de um segmento por vezes negligenciado das populações de aves marinhas – imaturos e não-reprodutores. O nosso trabalho poderá servir como base para futuros projetos que se possam focar com detalhe na atividade no mar destas aves.

Como o nosso trabalho sugere que este grupo da população de cagaras disperse mais pelo oceano durante a altura de invernada, seria interessante avaliar com mais detalhe a sua distribuição pelas diferentes áreas de invernada, talvez complementando o uso de dados relativos à atividade no mar (tempo passado na água e períodos em que as aves estão em voo), as localizações dadas pelos GLS e a caracterização das variáveis oceanográficas (nomeadamente concentração de clorofila a, temperatura superficial do mar e batimetria) para a determinação das *core foraging areas* (principais áreas de alimentação) e áreas vitais usadas durante a época não-reprodutora. Com este conhecimento seria possível avaliar se os imaturos se encontram de facto mais dispersos pelo oceano na época de invernada, o que pode reduzir a sua vulnerabilidade a impactos de origem antropogénica (tais como o

bycatch ou os derrames de petróleo) e aumentar a capacidade destes se adaptarem a alterações climáticas (Kokko, 2006; Missagia, 2013). Votier et al. (2008) descobriram que a probabilidade de airos (*Uria aalge*) serem afectados por derrames de petróleo é menor para aves mais jovens, por estas se encontrarem mais dispersas em comparação com os adultos. Por outro lado, ao prospectarem um maior número de áreas oceânicas, aves imaturas podem também ser mais suscetíveis a ameaças em diferentes locais.

Podemos dizer que as diferenças encontradas na fenologia da migração de retorno, nomeadamente entre adultos e imaturos, se devem provavelmente ao fato destes últimos não estarem constrangidos pelo investimento na reprodução. Por outro lado, as semelhanças encontradas no *timing* de certos eventos da migração sugerem que as cagaras imaturas vão adquirindo informação acerca das condições ambientais que influenciam os seus movimentos migratórios, ajustando o *timing* para certos óptimos migratórios, o que sucede também com os adultos.

Finalmente, consideramos que o estatuto reprodutor parece ser uma condição importante que afecta o comportamento de aves marinhas, tais como a cagarra, não só no contexto da segregação do nicho trófico durante a época de reprodução, mas também na migração durante a época não-reprodutora.

Referências bibliográficas

- Alho, M., 2014. Movimentos e actividade migratória de uma ave pelágica: a alma-negra (*Bulweria bulwerii*) (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Alonso, H., Granadeiro, J.P., Waap, S., Xavier, J., Symondson, W.O.C., Ramos, J.A., Catry, P., 2014. An holistic ecological analysis of the diet of Cory's shearwaters using prey morphological characters and DNA barcoding. *Mol. Ecol.* 23, 3719–3733. doi:10.1111/mec.12785
- Bächler, E., Hahn, S., Schaub, M., Arlettaz, R., Jenni, L., Fox, J.W., Afanasyev, V., Liechti, F., 2010. Year-Round Tracking of Small Trans-Saharan Migrants Using Light-Level Geolocators. *PLoS ONE* 5, e9566. doi:10.1371/journal.pone.0009566
- Barrett, R., Chapdelaine, G., Ankernilssen, T., Mosbech, A., Montevecchi, W., Reid, J., Veit, R., 2006. Seabird numbers and prey consumption in the North Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*. doi:10.1016/j.icesjms.2006.04.004
- Bretagnolle, V., Lequette, B., 2010. Structural Variation in the Call of the Cory's Shearwater (*Calonectris diomedea*, Aves, Procellariidae). *Ethology* 85, 313–323. doi:10.1111/j.1439-0310.1990.tb00410.x
- Campioni, L., Granadeiro, J.P., Catry, P., 2016. Niche segregation between immature and adult seabirds: does progressive maturation play a role? *Behav. Ecol.* 27, 426–433. doi:10.1093/beheco/arv167
- Carvalho, A., 2012. Ecologia alimentar de duas aves pelágicas das Ilhas Selvagens (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Catry, P., Dias, M.P., Phillips, R.A., Granadeiro, J.P., 2013. Carry-over effects from breeding modulate the annual cycle of a long-distance migrant: an experimental demonstration. *Ecology* 94, 1230–1235. doi:10.1890/12-2177.1
- Catry, P., Granadeiro, J.P., Ramos, J., Phillips, R.A., Oliveira, P., 2011. Either taking it easy or feeling too tired: old Cory's Shearwaters display reduced activity levels while at sea. *J. Ornithol.* 152, 549–555. doi:10.1007/s10336-010-0616-7
- Dias, M.P., Granadeiro, J.P., Catry, P., 2013. Individual variability in the migratory path and stopovers of a long-distance pelagic migrant. *Anim. Behav.* 86, 359–364. doi:10.1016/j.anbehav.2013.05.026

- Dias, M.P., Granadeiro, J.P., Catry, P., 2012. Do Seabirds Differ from Other Migrants in Their Travel Arrangements? On Route Strategies of Cory's Shearwater during Its Trans-Equatorial Journey. PLoS ONE 7, e49376. doi:10.1371/journal.pone.0049376
- Dias, M.P., Granadeiro, J.P., Phillips, R.A., Alonso, H., Catry, P., 2011. Breaking the routine: individual Cory's shearwaters shift winter destinations between hemispheres and across ocean basins. Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 278, 1786–1793. doi:10.1098/rspb.2010.2114
- Egevang, C., Stenhouse, I.J., Phillips, R.A., Petersen, A., Fox, J.W., Silk, J.R.D., 2010. Tracking of Arctic terns *Sterna paradisaea* reveals longest animal migration. Proc. Natl. Acad. Sci. 107, 2078–2081. doi:10.1073/pnas.0909493107
- Fayet, A.L., Freeman, R., Shoji, A., Padget, O., Perrins, C.M., Guilford, T., 2015. Lower foraging efficiency in immatures drives spatial segregation with breeding adults in a long-lived pelagic seabird. Anim. Behav. 110, 79–89. doi:10.1016/j.anbehav.2015.09.008
- Felicísimo, Á.M., Muñoz, J., González-Solís, J., 2008. Ocean Surface Winds Drive Dynamics of Transoceanic Aerial Movements. PLoS ONE 3, e2928. doi:10.1371/journal.pone.0002928
- Giudici, A., Navarro, J., Juste, C., González-Solís, J., 2010. Physiological ecology of breeders and sabbaticals in a pelagic seabird. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 389, 13–17. doi:10.1016/j.jembe.2010.04.002
- González-Solís, J., Croxall, J.P., Oro, D., Ruiz, X., 2007a. Trans-equatorial migration and mixing in the wintering areas of a pelagic seabird. Front. Ecol. Environ. 5, 297–301. doi:10.1890/1540-9295(2007)5[297:TMAMIT]2.0.CO;2
- González-Solís, J., Navarro, J., Viscor, G., 2007b. Nutritional and feeding ecology in Cory's shearwater *Calonectris diomedea* during breeding. Mar. Ecol. Prog. Ser. 351: 261–271, 2007. doi:10.3354/meps07115
- González-Solís, J., Felicísimo, A., Fox, J.W., Afanasyev, V., Kolbeinsson, Y., Muñoz, J., 2009. Influence of sea surface winds on shearwater migration detours. Mar. Ecol. Prog. Ser. 391, 221–230.
- Granadeiro, J.P., 1993. Variation in measurements of Cory's shearwater between populations and sexing by discriminant analysis. Ringing Migr. 14, 103–112. doi:10.1080/03078698.1993.9674051
- Granadeiro, J.P., 1991. The breeding biology of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea borealis* on Berlenga Island, Portugal. Seabird 13: 30-39
- Granadeiro, J.P., Alonso, H., Almada, V., Menezes, D., Phillips, R.A., Catry, P., 2009. Mysterious attendance cycles in Cory's shearwater, *Calonectris diomedea*: an exploration of patterns and hypotheses. Anim. Behav. 78, 1455–1462. doi:10.1016/j.anbehav.2009.09.029

- Granadeiro, J.P., Dias, M.P., Rebelo, R., Santos, C.D., Catry, P., 2006. Numbers and Population Trends of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* at Selvagem Grande, Northeast Atlantic. *Waterbirds* 29, 56–60. doi:10.1675/1524-4695(2006)29[56:NAPTOC]2.0.CO;2
- Grémillet, D., Lewis, S., Drapeau, L., van Der Lingen, C.D., Huggett, J.A., Coetzee, J.C., Verheye, H.M., Daunt, F., Wanless, S., Ryan, P.G., 2008. Spatial match-mismatch in the Benguela upwelling zone: should we expect chlorophyll and sea-surface temperature to predict marine predator distributions? *J. Appl. Ecol.* 45, 610–621. doi:10.1111/j.1365-2664.2007.01447.x
- Guilford, T., Freeman, R., Boyle, D., Dean, B., Kirk, H., Phillips, R., Perrins, C., 2011. A Dispersive Migration in the Atlantic Puffin and Its Implications for Migratory Navigation. *PLoS ONE* 6, e21336. doi:10.1371/journal.pone.0021336
- Hedd, A., Tranquila, L. M., Montevecchi, W., Phillips, R., 2013. Multiple-colony winter habitat use of murre (Uria spp.) in the Northwest Atlantic Ocean: Implications for marine risk assessment. *Mar Ecol Prog Ser* , 472 , 287-303
- Huyvaert, K., J. Anderson, D., 2004. Limited dispersal by zca boobies *Sula granti*. *Journal of Avian Biology* 35, 46–53. doi:10.1111/j.0908-8857.2004.03131.x
- Klomp, N.I., Furness, R.W., 1992. Non-Breeders as a Buffer Against Environmental Stress: Declines in Numbers of Great Skuas on Foula, Shetland, and Prediction of Future Recruitment. *J. Appl. Ecol.* 29, 341. doi:10.2307/2404503
- Kokko, H., 2006. From Individual Dispersal to Species Ranges: Perspectives for a Changing World. *Science* 313, 789–791. doi:10.1126/science.1128566
- Kokko, H., 1999. Competition for early arrival in migratory birds. *J. Anim. Ecol.* 68, 940–950. doi:10.1046/j.1365-2656.1999.00343.x
- Kubetzki, U., Garthe, S., Fifield, D., Mendel, B., Furness, R., 2009. Individual migratory schedules and wintering areas of northern gannets. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 391, 257–265. doi:10.3354/meps08254
- Lisovski, S., Hewson, C.M., Klaassen, R.H.G., Korner-Nievergelt, F., Kristensen, M.W., Hahn, S., 2012. Geolocation by light: accuracy and precision affected by environmental factors: Accuracy of geolocation by light. *Methods Ecol. Evol.* 3, 603–612. doi:10.1111/j.2041-210X.2012.00185.x
- Longhurst, A.R., 2007. *Ecological geography of the sea*, 2nd ed. ed. Academic Press, Amsterdam ; Boston, MA.
- Matias, R., Catry, P., 2010. The diet of Atlantic Yellow-legged Gulls (*Larus michahellis atlantis*) at an oceanic seabird colony: estimating predatory impact upon breeding petrels. *Eur. J. Wildl. Res.* 56, 861–869. doi:10.1007/s10344-010-0384-y

- Missagia, R., 2013. Year-round distribution suggests spatial segregation of Cory's Shearwaters (*Calonectris diomedea borealis*), based on breeding experience (Dissertação de Mestrado). Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Missagia, R.V., Ramos, J.A., Louzao, M., Delord, K., Weimerskirch, H., Paiva, V.H., 2015. Year-round distribution suggests spatial segregation of Cory's shearwaters, based on individual experience. *Mar. Biol.* 162, 2279–2289. doi:10.1007/s00227-015-2762-1
- Newton, I., Brockie, K., 2008. *The Migration Ecology of Birds*. Academic, Amsterdam.
- Newton, I., Brockie, K., 2003. *The speciation and biogeography of birds*. Academic Press, Amsterdam; Boston.
- Paiva, V.H., Geraldès, P., Ramírez, I., Meirinho, A., Garthe, S., Ramos, J.A., 2010a. Oceanographic characteristics of areas used by Cory's shearwaters during short and long foraging trips in the North Atlantic. *Mar. Biol.* 157, 1385–1399. doi:10.1007/s00227-010-1417-5
- Paiva, V.H., Geraldès, P., Ramírez, I., Meirinho, A., Garthe, S., Ramos, J., 2010b. Foraging plasticity in a pelagic seabird species along a marine productivity gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 398, 259–274. doi:10.3354/meps08319
- Perez, C., Granadeiro, J.P., Dias, M.P., Alonso, H., Catry, P., 2014. When males are more inclined to stay at home: insights into the partial migration of a pelagic seabird provided by geolocators and isotopes. *Behav. Ecol.* 25, 313–319. doi:10.1093/beheco/art119
- Péron, C., Grémillet, D., 2013. Tracking through Life Stages: Adult, Immature and Juvenile Autumn Migration in a Long-Lived Seabird. *PLoS ONE* 8, e72713. doi:10.1371/journal.pone.0072713
- Phillips, R., Silk, J., Croxall, J., Afanasyev, V., Briggs, D., 2004. Accuracy of geolocation estimates for flying seabirds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 266, 265–272. doi:10.3354/meps266265
- Phillips, R.A., Xavier, J.C., Croxall, J.P., 2003. Effects of satellite transmitters on albatrosses and petrels. *The Auk* 120, 1082. doi:10.1642/0004-8038(2003)120[1082:EOSTOA]2.0.CO;2
- Plano de Gestão e Ordenamento das Ilhas Selvagens (2014) Acedido em Abril de 2017 no sítio https://issuu.com/institutodasflorestaseconservacaoda/docs/pogis_completo
- Ramos, R., Granadeiro, J.P., Nevoux, M., Mougín, J.-L., Dias, M.P., Catry, P., 2012. Combined Spatio-Temporal Impacts of Climate and Longline Fisheries on the Survival of a Trans-Equatorial Marine Migrant. *PLoS ONE* 7, e40822. doi:10.1371/journal.pone.0040822
- Ramos, J.A., Monteiro, L.R., Sola, E., Moniz, Z., 1997. Characteristics and Competition for Nest Cavities in Burrowing Procellariiformes. *The Condor* 99, 634–641. doi:10.2307/1370475

- Riotte-Lambert, L., Weimerskirch, H., 2013. Do naive juvenile seabirds forage differently from adults? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280, 20131434–20131434. doi:10.1098/rspb.2013.1434
- Rodríguez, A., Rodríguez, B., Lucas, M.P., 2012. Trends in numbers of petrels attracted to artificial lights suggest population declines in Tenerife, Canary Islands: *Rescue campaigns suggest petrel declines*. *Ibis* 154, 167–172. doi:10.1111/j.1474-919X.2011.01175.x
- Schreiber, E.A., Burger, J. (Eds.), 2002. *Biology of marine birds*, CRC marine biology series. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Shaffer, S.A., Tremblay, Y., Weimerskirch, H., Scott, D., Thompson, D.R., Sagar, P.M., Moller, H., Taylor, G.A., Foley, D.G., Block, B.A., Costa, D.P., 2006. Migratory shearwaters integrate oceanic resources across the Pacific Ocean in an endless summer. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 103, 12799–12802. doi:10.1073/pnas.0603715103
- Shillinger, G., Bailey, H., Bograd, S., Hazen, E., Hamann, M., Gaspar, P., Godley, B., Wilson, R., Spotila, J., 2012. Tagging through the stages: technical and ecological challenges in observing life histories through biologging. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 457, 165–170. doi:10.3354/meps09816
- Votier, S.C., Grecian, W.J., Patrick, S., Newton, J., 2011. Inter-colony movements, at-sea behaviour and foraging in an immature seabird: results from GPS-PPT tracking, radio-tracking and stable isotope analysis. *Marine Biol.* 158, 355–362. doi:10.1007/s00227-010-1563-9
- Votier, S.C., Birkhead, T.R., Oro, D., Trinder, M., Grantham, M.J., Clark, J.A., McCleery, R.H., Hatchwell, B.J., 2008. Recruitment and survival of immature seabirds in relation to oil spills and climate variability. *J. Anim. Ecol.* 77, 974–983. doi:10.1111/j.1365-2656.2008.01421.x
- Weimerskirch, H., Åkesson, S., Pinaud, D., 2006. Postnatal dispersal of wandering albatrosses *Diomedea exulans* : implications for the conservation of the species. *J. Avian Biol.* 37, 23–28. doi:10.1111/j.2006.0908-8857.03675.x